

# 全天 X 線監視装置 MAXI が観測した X 線バーストの探査

大槻 光 (青山学院大学大学院 理工学研究科)

## Abstract

Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) は 2009 年 8 月に国際宇宙ステーション日本実験棟きぼうの船外実験プラットフォームに搭載された全天 X 線監視装置である。MAXI に搭載されている X 線検出器、Gas Slit Camera (GSC) は 2-30keV の X 線領域に感度を持っており、約 90 分毎にほぼ全天を走査することができる。長年人類が憧れてきた静かに見える宇宙も、X 線で見ると活発に活動をしている。例えば、中性子星やブラックホールに代表される高密度天体はその活動の起源の一部である。このうち、中性子星と恒星の連星系が起こす活動の一種に X 線バーストという突発的な爆発現象がある。この連星系において、恒星の一部が降着ガスとなって中性子星表面に落下し堆積する。強い重力によって閉じ込められたプラズマは、臨界状態に到達し、熱核融合反応を起こす。この熱核融合反応の暴走をきっかけに表面層は一気に加熱され、黒体放射で X 線を放射して、X 線バーストの起源となる。一般に人工衛星に搭載された X 線望遠鏡による観測では、ある一つの天体に対して感度の良い観測を長い時間行なうことができるが、視野が狭いため、観測対象でない天体の活動性を監視することはできない。これに対し MAXI は 1 日に約 16 回の全天観測を毎日行なっているため、いつ起こるか分からない X 線バーストのような突発的に明るさが変動する現象を検出することに関しても有用な一面を持つ観測装置である。本研究は MAXI/GSC が観測した約 4 年分のデータの中から、X 線バーストを起こす天体のバーストごとの情報をまとめ、カタログにすることを目標としている。そこでカタログ作成に向けて、H1636-536 という低質量 X 線連星をサンプルに MAXI/GSC の観測データから X 線バーストの情報を抜き出す手法を確立した。その結果得られた 39 個のバーストについて、バーストの発生時刻、継続時間、光子フルエンス、ピーク時の光子数を求めた。

## 1 Introduction

中性子星や白色矮星、ブラックホールなどの高密度天体は、単体で明るく輝くメカニズムを持っていない。これらの天体は、核融合反応のようなエネルギー源になるものを持っていないため、形成されてからはただ冷えていくのみなのである。高密度天体を観測することができる場合として、これらが連星系を成す場合がある。高密度天体と比較的低質量な恒星の連星系として低質量 X 線連星系がある。X 線バーストの起源はこの低質量 X 線連星系であることが知られている。この連星系において、恒星の一部はガスになり中性子星の周囲に降着円盤を形成する。降着ガスは重力エネルギーの一部を熱エネルギーとして開放しながら中性子星表面へと落下していく。この熱による黒体放射が円盤から放出される。中性

子星表面にガスが到達するころには、初めに持っていた半分のエネルギーを放出している。こうして中性子星表面に堆積した恒星からのガスは、非常に強い重力と次々に堆積していく物質によって圧縮される。圧縮が進むと密度は上昇し、ある臨界点に達した瞬間、熱核融合反応が暴走する。熱核融合反応によって加熱された表面層は、黒体放射によって一気に X 線を放出し、これが X 線バーストとして観測される。典型的な X 線バーストは、継続時間が約 1 秒から数 10 秒であり、エネルギー帯域は数 keV から数 10keV で観測される。放射起源となる黒体温度は約 2keV で、中性子星表面付近の爆発なので黒体半径は約 10km のものが多い。

本研究の最終目標は、MAXI が観測した X 線バーストのカタログを作成することである。X 線での全天走査観測を行う MAXI は、比較的多くの X 線バースト

ストなどの突発現象を検出することに成功している。しかし、現段階では、MAXI が観測した X 線バーストの総括的な研究は存在しない。MAXI の X 線バーストカタログを作ることは、観測装置としての功績の一部を明かにするだけでなく、X 線バーストおよび中性子星のさらなる理解にも役立つかもしれない。例えば、X 線バーストで輝く黒体は中性子星表面の堆積物からの放射であると考えられている。そのためこの黒体の大きさを調べることは、中性子星の大きさを知る一つの指標になる。また、この黒体の温度や半径の分布は、理論的にもいくつかの予想がある。観測例を増やすことでこの理論に制限をつけることも期待される。

X 線バーストやガンマ線バーストに代表される継続時間の短い突発天体現象を発見して即座に世界中の研究者に速報することについて、MAXI は大成功しているとはまだ言えない。MAXI が観測している X 線バーストを良い精度で効率よく検出する方法を確立することができれば、MAXI の突発天体発見アラートシステムの向上にもつながるのではないかと考えている。そのため、MAXI のデータから X 線バーストのデータを効率よく抜き出すことを目指した。

## 2 Monitor of All-sky X-ray Image

MAXI は、2009 年 7 月 16 日にスペースシャトル エンデバー号により打ち上げられ、同年 7 月 24 日に若田宇宙飛行士が操作するロボットアームにより、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームに取り付けられた。開発・協力機関としては、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、理化学研究所、京都大学、東京工業大学、大阪大学、宮崎大学、日本大学、中央大学、青山学院大学が参加している。MAXI は、これまでのどの X 線領域での ASM (All-Sky Monitor: 全天監視装置) をも上回る最高の 1mCrab という感度での全天観測を実現した。X 線検出器としては、ガス比例計数管カメラ (Gas Slit Camera) と X 線 CCD カメラ (Solid-State Slit Camera) が搭載されている。本研究は Gas Slit Camera (以下 GSC) のデータを用いて解析を行った。

GSC の最大有効面積は  $5340\text{cm}^2$  であり、観測可能なエネルギー範囲は 2-30keV になる。また、典型的な天体の位置分解能は、0.1 度となっている。この能力を活かした全天の X 線強度マップ (全天マップ) を描くことが可能となっており、X 線領域で輝く約 200 個の天体を常時監視することができる。また、MAXI は ISS に搭載されているため、ある一つの天体に対して停止しての定点観測はできない。点源に等しい光源 (天体) が、GSC の視野に入って観測している合間にも、光源の検出器座標は刻々と変化していく。GSC のデータを解析する場合、光子の取得率は有効面積に依存するので、有効面積による補正が重要になる。

## 3 解析方法

解析の手法として、解析済みのデータで X 線バーストの候補になるイベントを見つけ、その後スクリーニング済みのイベントデータを用いて詳細な解析を行った。本研究の対象に H1636-536 を選んだ理由として、地球方向から見ても他の天体と重なっていないことと、X 線バーストを起こす頻度が高いことがある。

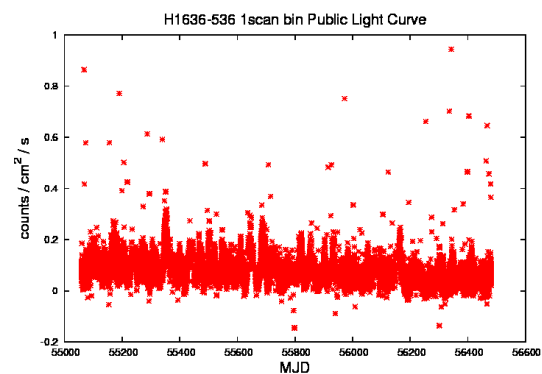


図 1: 理研 MAXI チームが公開する H1636-536 の 1 スキャンビンライトカーブ。(4-10keV)

### 3.1 X線バースト候補の選出

理研 MAXI チームが解析、公開しているページから H1636-536 の 4-10keV の 1 スキャン (1 スキャン 90 分) ビンのライトカーブデータを取得した。図 1 にそれを示すが、いくつかのピンはカウント数が大きいところであり、これらが X 線バーストの候補になると考えられる。一方でカウント数が小さく比較的安定しているところが定常成分と思われる。この天体は定常成分も変動をしていることが分かる。数ピンに渡ってゆっくりと増光している部分はスーパーバーストであるが、今回の研究では調査対象外としている。

この第一段階の解析では、ゆるい条件で X 線バーストを含むピンと定常成分のみのピンも一部含む状態で X 線バーストの候補を抜き取ることを目標とした。

X 線バースト候補選出の方法としては、先ほどの 1 スキャンピンのライトカーブにおいて、センターピン (見たいピン) を中心に左右 3 ピンずつ (計 6 ピン) のカウント数の中心値の平均を取り、センターピンのカウント数の中心値との差を計算する。ここで左右 3 ピンずつの平均を取ったのは、この天体は定常成分に変動があるため、この変動に X 線バーストによる増光が埋もれることをさけるためである。センターピンが定常成分の放射のみであれば、平均ピンのカウント数との差はほぼゼロになる。しかし、X 線バーストのような増光があった場合は、ゼロから離れた値になると考えられる。そこでセンターピンと平均値とのカウント数の差を 0.05 ずつにビンニングすることで頻度分布を作成した。

この頻度分布に着目すると、差がゼロより大きく 0.1 以下にあるものが多いが、拡大すると 0.1 以上の差をもつピンがあることが分かる (図 2)。

この第一段階の選出では、X 線バーストが含まれていない定常成分のみを含むピンの大部分を切り捨てるのが目的なので、差が 0.1 より大きいピン 118 個を第一段階での X 線バーストの候補とした (図 3)。

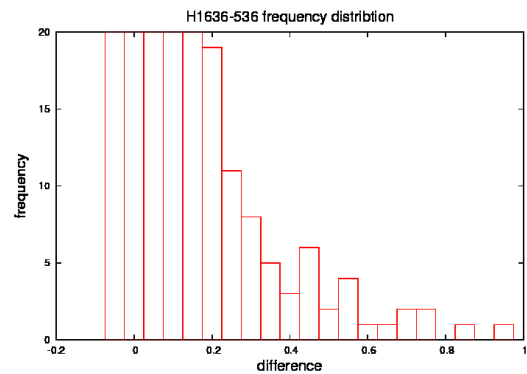


図 2: H1636-536 の頻度分布。センターピンと平均ピンとの差は 0.05 ずつにまとめて頻度を取った。difference が 0.1 以上の部分にもピンがあることが分かる。

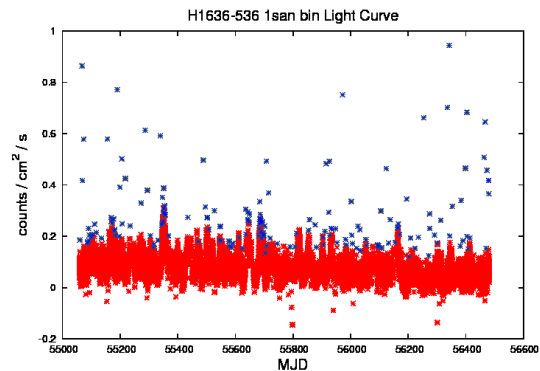


図 3: H1636-536 の 1 スキャンピンライトカーブ。赤い点は元の公開ライトカーブを表し、青い点は差が 0.1 よりも大きかった 118 スキャンに対応している。

### 3.2 1 秒ピンライトカーブの作成

次に、得られた X 線バースト候補の 118 スキャンに対して、event data から 1 秒ピンのライトカーブを作成した。先に述べた有効面積で補正を行い、宇宙 X 線背景放射や GSC の内在バックグラウンドを引いた。作成したライトカーブの光子数 (photons/cm<sup>2</sup>/s) に対し、定数とバーストの関数 (線形で増加し、一度定数になり、指数関数で減少するモデル) でモデルフィッティングを行い、バーストの継続時間や光子フルエンスを求めた。今回、継続時間としては、フィッティングしたモデルの T90 の値を採用した。T90 とは、ガンマ線バーストなど突発天体の継続時間を見

積もる一つの指標であり、バースト全体の光子のうち最初と最後の 5% を除いた残りの 90% の光子が到来していた継続時間である。光子フルエンスの値は、T90 の時間間隔の間に検出された光子数に対応している。またバーストの発生時刻は、ライトカーブの各ビンの光子数をエラーで割り、シグナルノイズ比を計算し、このシグナルノイズ比が閾値 3 以上になる時刻とした。MAXI が観測した X 線バーストのデータには、線形で増加し、少しの間定数でフラットになった後に指数関数的に減少するものが多く見られた。

## 4 解析結果

118 個の X 線バースト候補に対して 1 秒ビンライトカーブを作成した結果、図 4 や図 5 のように 39 個のライトカーブに X 線バーストと思われる増光を確認することができた。図 4 に示したバーストは、いわゆるよく知られている線形で増光し、指数関数で減光するタイプのバーストであった。これに対し図 5 に示したバーストは、MAXI が観測したこの天体のバーストに多い増光した後に一度フラットになるタイプのバーストであった。

カタログに掲載する情報として、バーストの発生時刻、継続時間、光子フルエンス、ピーク時の光子数をライトカーブから得た。

その結果、H1636-536 の起こすバーストには、継続時間が約 10~25 (s) のものがあり、光子フルエンスも約 30~60 (photons/cm<sup>2</sup>) のものが見つかった。これらの解析結果やライトカーブはカタログとして web 上に公開する予定である。

## 5 まとめ

理研 MAXI チームが公開するアーカイブデータを出発点に MAXI/GSC が観測した X 線バーストのデータを抜き出す方法を確立した。H1636-536 について解析した結果、39 個の X 線バーストが観測されていることが分かった。それらのバーストについて、発生時刻や継続時間、光子フルエンス、ピーク時の光子数を求めた。これらの解析結果は今後 web 上に公開される。また、MAXI で X 線バーストが観測さ

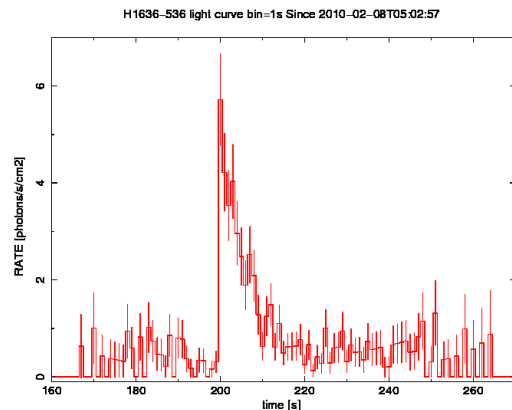


図 4: MJD=55235 付近で H1636-536 が起こした X 線バーストのライトカーブ。

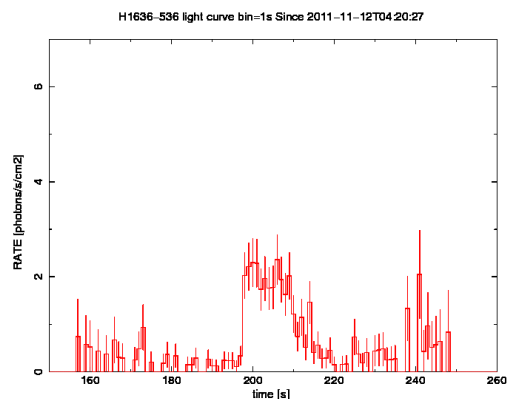


図 5: MJD=55877 付近で H1636-536 が起こした X 線バーストのライトカーブ。

れている他の天体についても解析を進めていく。今回解析を行った H1636-536 は他の天体と重なっていないが、銀河中心方向の密集した領域については 2 次元解析を行っていく。

## 6 参考文献

### Reference

- [1] 理化学研究所 MAXI 解説サイト : <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2011/kawai/02.shtml>
- [2] 吉田研究室 山崎 修 2009 年度 修士論文